



## Metode *Point Kriging* Untuk Estimasi Sumberdaya Bijih Besi (Fe) Menggunakan Data Assay (3D)

Pada Daerah Tanjung Buli Kabupaten Halmahera Timur

(*Point kriging Method for Estimation Resources of Iron Ore (Fe) Use Assay Data (3D) of Tanjung Buli area, East Halmahera Regency*)

Guskarnali<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung

### Abstract

*This research was conducted in the area Tanjung Buli, East Halmahera regency. This area has iron ore resources in the prospects for exploration to exploitation with data obtained using spaced borehole 25meter. Point kriging method with software SGeMS (Standard Geostatistic Modeling software) used for assessing of iron ore resource with size of block model dimensions 41x23x205 and unit blocks 25x25x1 (in meters). The results of the assessment point kriging method obtained estimated values of Fe and kriging variance value is then used for the classification of resources based on relative kriging standard deviation (RKSD) as classification of resource measured, indicated, and inferred. The results of cross-validation of the assay data-Fe-Fe estimation data from point kriging method. The results of resource assessment Fe of measured amounted to 3,081,125 tonnes, Indicated amounted to 6,878,563 tonnes and Inferred amounted to 97,781,563 tonnes. The pattern of spread showed high Fe content above 14.40% Fe dispersed randomly (varies) or local-local in units of small blocks. Correlation coefficient value showed of 0.89 so it has a strong correlation between the assay data-Fe with Fe estimation data.*

*Keywords: iron ore (Fe), point kriging, isotropic.*

### 1. Pendahuluan

Endapan bijih besi (Fe) merupakan unsur logam yang paling banyak di bumi ini. Karakteristik dari endapan bijih besi yang ditemukan sering berasosiasi dengan mineral logam lainnya yang bernilai ekonomis. Endapan bijih besi yang ekonomis umumnya berupa magnetit, hematit, limonit, dan siderite. Keterdapatn endapan bijih besi biasa tersebar dalam bentuk perlapisan maupun bongkah-bongkah dengan ukuran butir halus sampai kasar.

Penyebaran endapan bijih besi secara umum tersebar di sebelah timur Indonesia seperti Pulau Halmahera yang tepatnya di daerah Tanjung Buli. Kegiatan eksplorasi lanjutan berupa pengambilan sampel dengan cara pengeboran dan kemudian dianalisis laboratorium sehingga mendapatkan nilai kadar bijih besi (Fe). Lokasi penelitian memiliki kadar bijih besi (Fe) relatif tinggi yang berasosiasi dengan mineral lain seperti nikel, kobalt, silica, kalsium oksida dan magnesium oksida.

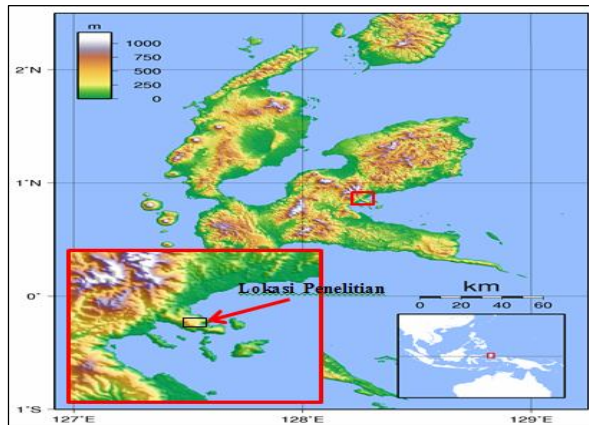
Kadar assay bijih besi (Fe) merupakan kadar yang diperoleh dari setiap lubang pengeboran dengan kedalaman tertentu. Informasi terkait dengan data kadar assay bijih besi (Fe) di lokasi penelitian kemudian dilakukan penaksiran dengan cara menaksirkan kadar bijih besi yang tidak tersampel dari pengeboran menggunakan metode *point kriging*.

Metode *point kriging* ini merupakan bagian dari metode kriging yang berbeda dari metode perhitungan lainnya, dimana daerah pengaruh dari titik bor terhadap titik yang ditaksir diperhitungkan, artinya setiap titik sampel (kadar) yang diketahui memiliki pengaruh untuk menaksirkan kadar yang disekitarnya dengan analisis spasial. Analisis spasial merupakan analisis yang mencari hubungan antara data hasil pengukuran seperti data assay bijih besi (Fe) terhadap objek lainnya seperti jarak tertentu antar data sampel baik secara horizontal maupun vertikal. Metode *point kriging* diharapkan dapat membantu dalam mengetahui penaksiran jumlah sumberdaya kadar bijih besi (Fe), memperkirakan pola sebaran penaksiran kadar bijih besi dilokasi penelitian serta tingkat kepercayaan yang dihasilkan dari model penaksiran kadar bijih besi.

\* Korespodensi Penulis: (Guskarnali) Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung, Kampus Terpadu Balunujuk, Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka. E-mail: guskarnali@gmail.com

## Lokasi Penelitian

Secara umum lokasi penelitian merupakan daerah eksplorasi sampai eksploitasi endapan nikel laterit yang terletak di daerah Tanjung Buli, Kecamatan Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Maluku Utara (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian

## Tinjauan Pustaka

### Analisis Statistik

Analisis statistik unvarian digunakan untuk menggambarkan distribusi peubah-peubah tunggal yang ditampilkan dalam bentuk histogram (Sulistyana, 1998).

Analisis spasial (ruang) merupakan analisis yang dilakukan terhadap data yang disajikan dalam posisi geografis (titik, garis dan luasan) dari suatu objek, berkaitan dengan lokasi, bentuk dan hubungan diantaranya dalam ruang bumi. Data spasial dapat berupa data diskrit atau kontinu dan dapat juga memiliki lokasi spasial beraturan (regular) maupun tak beraturan (irregular). Data spasial dikatakan mempunyai lokasi yang regular jika antara lokasi yang saling berdekatan satu dengan yang lain mempunyai posisi yang beraturan dengan jarak sama besar, sedangkan dikatakan irregular jika antara lokasi yang saling berdekatan satu dengan yang lain mempunyai posisi yang tidak beraturan dengan jarak yang berbeda (Cressie, 1993).

Parameter untuk melakukan analisis spasial yaitu variogram atau semivariogram. Analisis spasial yang dilakukan menggunakan aplikasi *Stanford Geostatistical Modeling Software* (SGeMS) yang diawali dengan penentuan parameter penyusun dari variogram eksperimental baik secara horizontal dan vertikal kemudian digabungkan menjadi variogram eksperimental gabungan yang selanjutnya dengan variogram model dilakukan pencocokan data (fitting variogram) (Guskarnali dan Sulistyana, 2015).

## Semivariogram Eksperimental

Semivariogram eksperimental ( $\gamma$ ) merupakan perangkat dasar dari geostatistik yang digunakan untuk menggambarkan (visualisasi), memodelkan dan menjelaskan korelasi spasial antar titik data berupa variansi *error* pada lokasi ( $s$ ) dan lokasi yang terpisah oleh jarak ( $s+h$ ). Menurut Armstrong, 1998 bahwa semivariogram eksperimental dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2 \quad \dots (1)$$

dengan:

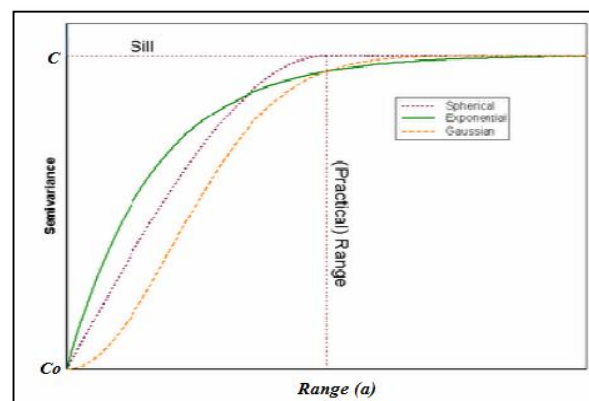
$\gamma_h$  = Semivariogram eksperimental

$N(h)$  = Banyaknya pasangan titik data yang mempunyai jarak  $h$

$Z(s_i)$  = Nilai data di titik  $s$

$Z(s_i+h)$  = Nilai data di titik  $(s_i+h)$

Parameter semivariogram terdiri dari tiga parameter yang menjadi penentu dari tingkat keberhasilan dari analisis spasial. Parameter tersebut yaitu *nugget effect* ( $C_0$ ), *sill* ( $C$ ), dan *range* ( $a$ ) yang ditunjukkan pada Gambar 2. Korelasi spasial dikatakan baik jika nilai *nugget effect* kecil, *sill* dan *range* besar dan sebaliknya jika nilai *nugget effect* besar sedangkan nilai *sill* dan *range* kecil, hal ini mengidentifikasi bahwa korelasi spasial antar data yang diamati tidak mewakili dari data secara keseluruhan sehingga perlu dilakukan pengambilan data tambahan yang lebih teliti dengan jumlah data yang banyak dan jarak antar data teratur dan dekat.



Gambar 2. Model semivariogram teoritis

Terdapat dua jenis semivariogram yaitu semivariogram isotropik dan semivariogram anisotropik. Perbedaanannya adalah isotropik hanya bergantung pada jarak sedangkan anisotropik tidak hanya bergantung pada jarak namun juga pada arah persebaran (Amelia, 2016). Sementara model semivariogram yang sering digunakan untuk menginterpolasi data

pengamatan secara teoritis yaitu sferikal, eksponensial, dan gaussian.

#### Metode *Point Kriging*

Metode *point kriging* merupakan bagian dari metode *Ordinary Kriging* (OK) yang merupakan salah satu perhitungan geostatistik dalam menghasilkan prediksi atau kesalahan minimum (variansi kriging) dari tiap-tiap titik data (sampel). Metode ini menaksirkan suatu titik yang tidak tersampel berdasarkan titik-titik data tersampel yang berada di sekitarnya dengan mempertimbangkan dari hasil korelasi spasial. Metode *point kriging* merupakan metode interpolasi yang menghasilkan prediksi atau estimasi tak bias yang disebut juga sebagai *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE). Nilai kadar estimasi pada variabel yang ditaksir menggunakan persamaan  $\hat{Z} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z_i$  dengan  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .  $\hat{Z}$  merupakan nilai taksiran dan  $Z_i$  nilai dari sampel di lokasi- $i$  yang dibobot,  $w_i$  merupakan bobot sampel (*weighted average*). Bobot sampel tidak hanya didasarkan pada jarak antara ukuran dan lokasi titik prediksi tetapi juga pada keseluruhan letak titik-titik yang diukur (Isaaks dan Srivastava, 1989).

#### Klasifikasi Sumberdaya

Dalam Masuara dkk, (2011) bahwa klasifikasi sumberdaya bijih besi (Fe) dapat dibagi menjadi tiga kategori sumberdaya, yaitu *measured* (terukur), *indicated* (tertunjuk), dan *inferred* (tereka) yang dibagi berdasarkan nilai *relative kriging standard deviation* (Sinclair dan Blackwell, 2005) yang dituliskan sebagai berikut:

*Measured*  $0.3 \leq$  *Indicated*  $0.5 \leq$  *Inferred*

dengan persamaan rumus dari *Relative Kriging Standard Deviation* (RKSD) sebagai berikut:

$$RKSD = 1,96 \cdot \left( \frac{\sigma_E}{\hat{Z}} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

$\sigma_E$  = Kriging *standard deviation*

$\hat{Z}$  = Kriging *value* (hasil estimasi kadar bijih besi)

Pada penelitian ini, klasifikasi sumberdaya hanya dipengaruhi oleh tingkat kesalahan dalam model geologi berupa data hasil estimasi kadar. Tingkat kesalahan yang diukur pada metode *point kriging* dengan *kriging variance* atau *error variance* yang berasal dari kadar estimasi bijih besi menggunakan prinsip *kriging*. *Error* diasumsikan memiliki distribusi normal dan memiliki selang kepercayaan 95%.

Perhitungan sumberdaya tergantung dari jarak pengambilan sampel yang mempengaruhi dari tingkat kepercayaan data. Jumlah

sumberdaya diperoleh dari luas blok (cell block) yang digunakan dikali dengan ketebalan titik sampel (Rauf, 1998).

#### *Cross validation*

Menurut Bhakti dan Subagiada (2016) bahwa salah satu cara untuk menguji tingkat keakuratan hasil estimasi suatu model menggunakan validasi silang (*cross validation*). Metode ini menggunakan seluruh data untuk mendapatkan suatu model (data kadar estimasi). Secara bergantian satu per satu data dihilangkan, dan kemudian data diestimasi dengan menggunakan data dari hasil model (data kadar estimasi) tersebut. Data hasil kadar estimasi Fe dapat ditentukan dengan cara mencari *error* selisihnya antara data kadar assay Fe yang digunakan. Parameter tingkat kepercayaan hasil validasi silang menggunakan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*), MAE (*Mean Absolute Error*) yang dikatakan baik jika mendekati nol dan nilai koefisien determinasi ( $r^2$ ) yang merupakan akar kuadrat dari koefisien korelasi yang mendekati nilai satu (Awali dkk, 2013). Koefisien korelasi ( $r$ ) merupakan hubungan penyimpangan data kadar estimasi Fe dengan data kadar assay Fe yang digunakan untuk menaksirkan kadar Fe di lokasi yang tidak tersampel. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$r^2 = \sqrt{r} \dots\dots\dots(3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n}} \dots\dots\dots(4)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n} \dots\dots\dots(5)$$

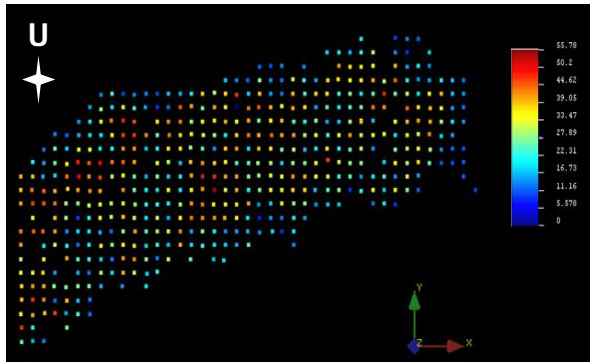
Perhitungan *cross validation* hasil taksiran bijih besi pada perangkat lunak *Stanford Geostatistical Modeling Software* (SGeMS) dibantu perangkat lunak notepad++ dengan *script* yang tersedia (Beszterda, 2011) dengan mengubah parameter *input* data sesuai dengan blok data pengukuran dan kadar assay bijih besi (Fe).

## 2. Metode Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini secara umum terdiri dari analisis deskriptif terhadap data kadar assay (3D) bijih besi (Fe) dan analisis spasial sebagai pemodelan penaksiran bijih besi (Fe) dengan data yang diperoleh yaitu hasil estimasi dan kriging variansi.

Data kadar assay bijih besi (Fe) diperoleh dari jumlah titik bor sebanyak 488 titik bor, minimal kedalaman titik bor pada kedalaman 7meter dan maksimum kedalaman titik bor pada

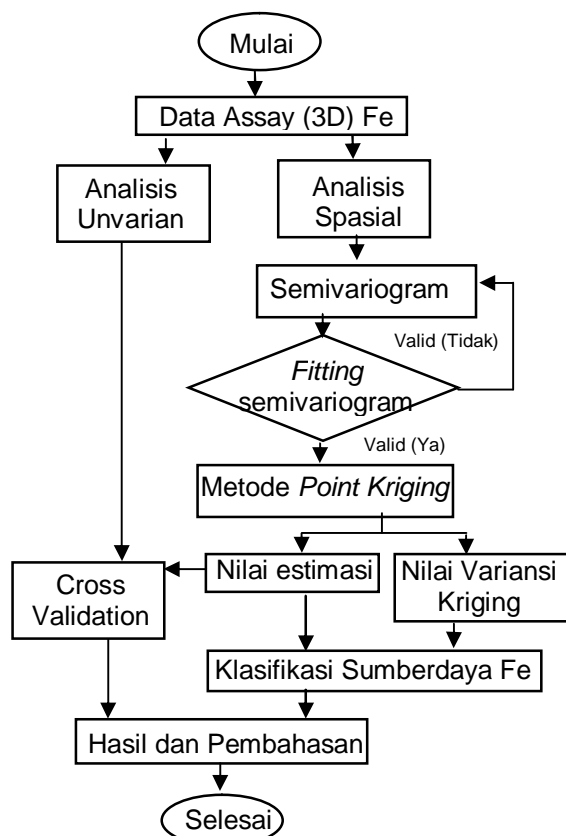
kedalaman 28meter serta rata-rata kedalaman titik bor pada kedalaman 20meter dengan interval jarak antar titik bor relatif sama yaitu 25meter. Penyebaran titik bor di lokasi penelitian berdasarkan nilai kadar bijih besi (Fe) memiliki kisaran nilai kadar 0 - 55,78%Fe (Gambar 3).



Gambar 3. Sebaran titik bor berdasarkan

Dalam model penaksiran sumberdaya bijih besi (Fe) menggunakan perangkat lunak (*open sources*) yaitu *Stanford Geostatistical Modeling Software* (SGeMS) dengan *cross validation* untuk analisis deskriptif bivarian menggunakan bantuan perangkat lunak Notepad++ yang diproses nantinya melalui *software* SGeMS.

Tahapan penelitian yang dilakukan untuk memperoleh model penaksiran sumberdaya Fe ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Tahapan *fitting* semivariogram antara semivariogram eksperimental dengan model semivariogram dilakukan secara *try and error* artinya dalam memperoleh nilai parameter model semivariogram yang akurat (*valid*) maka dilakukan secara manual pada *software* SGeMS sampai memberikan nilai parameter semivariogram (*nugget effect*, *sill*, dan *range*) yang baik.

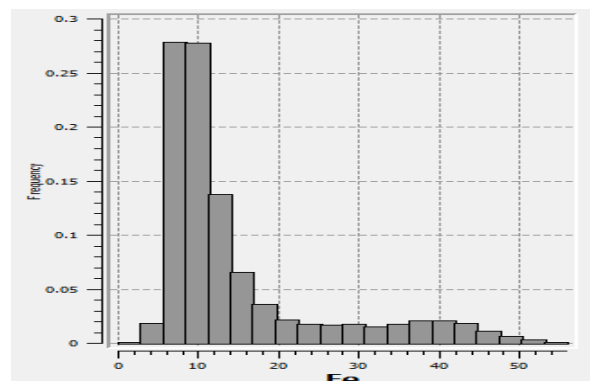
Parameter *fitting* semivariogram dikatakan valid jika terlihat hasil model semivariogram yang dipilih beserta parameternya berimpit atau *overlay* Parameter semivariogram eksperimental diharapkan memiliki nilai *nugget effect* yang kecil, *sill* yang besar, dan *range* yang besar. Hasil *fitting* semivariogram berupa parameter semivariogram yang dianggap akurat kemudian digunakan dalam penaksiran metode *point kriging*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Analisis Unvarian Data Assay (3D) Fe

Hasil analisis statistik unvarian data assay (3D) bijih besi pada daerah penelitian memiliki nilai koefisien variasi sebesar 0,73. Nilai koefisien variasi tersebut menunjukkan kecilnya perbedaan antar kadar Fe sehingga data kadar assay Fe masih dapat digunakan untuk melakukan penaksiran sumberdaya bijih besi tanpa perlu dilakukan persentil atau pengelompokkan data-data assay (3D) Fe.

Analisis ini diperlukan untuk melihat kecenderungan data assay Fe (sampel) yang digunakan, apakah telah mewakili dari populasi yang ada di lokasi penelitian. Nilai kadar Fe dengan frekuensi yang paling banyak berada pada kisaran 6-14%Fe dengan nilai yang lebih kecil tersebar kearah kanan (*skewness positif*) artinya nilai mean lebih besar daripada nilai median. Penyebaran data assay Fe yang digunakan ditampilkan dalam bentuk diagram batang (*histogram*) pada Gambar 5.



Gambar 5. Histogram data kadar assay Fe



Analisis deskriptif unvarian merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui pemusatan data sampel. Parameter yang digunakan simpangan baku (*standard deviation*) dan rerata (*mean*). dalam merepresentatifkan data kadar assay Fe yang dikatakan layak dengan menggunakan parameter simpangan baku (*standard deviation*) dan rerata (*mean*). Nilai standar deviasi (SD) yang diperoleh sebesar 10,45 sedangkan nilai *mean* sebesar 14,40 (Tabel 1). Besarnya nilai *mean* daripada nilai standar deviasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata data kadar assay Fe mewakili (representatif) dari keseluruhan data atau juga diartikan bahwa penyimpangan data (standar deviasi) tidak mempengaruhi sebaran kadar Fe yang ada, dikarenakan jarak antar data kadar assay Fe saling berhubungan sehingga memiliki pengaruh yang dekat antar sampel kadar assay Fe.

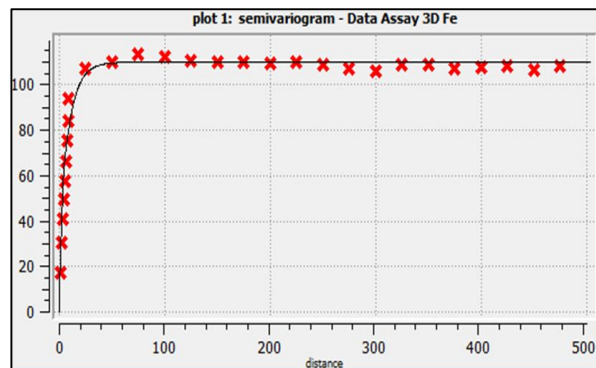
Tabel 1. Analisis statistik unvarian data kadar assay Fe

First input row	1
Last input row	9662
Number of values	9662
Number of missing values	0
Sum	139141.5
Minimum	0
Maximum	55.78
Range	55.78
Mean	14.4009
Median	10.26
First quartile	7.96
Third quartile	15.3
Standard error	0.106334
Variance	109.2478
Standard deviation	10.45217
Coefficient of variation	0.7258
Skew	1.786
Kurtosis	2.233

### Analisis Spasial Data Assay Fe

Semivariogram digunakan untuk mengetahui korelasi spasial atau tingkat kemiripan dari data assay kadar Fe di lokasi penelitian. Analisis semivariogram dilakukan menggunakan perangkat lunak SGeMS dengan masukan data pencarian kearah horizontal menggunakan jarak antar titik bor sebesar 25meter dan jarak toleransi (setiap titik sampel mempunyai pengaruh sampai setengah jarak dari titik lain didekatnya) sebesar 12,5meter sedangkan

pencarian kearah vertikal mengikuti pengambilan data assay Fe per kedalaman sebesar 1meter dengan jarak toleransi sebesar 0,5meter. Jenis semivariogram isotrop (pencarian data estimasi ke segala arah) yang digunakan, kemudian dicari semivariogram horizontal dan semivariogram vertikal sehingga menghasilkan semivariogram yang dinamakan semivariogram data assay Fe (semivariogram eksperimental). Hasil analisis spasial semivariogram yang valid dari data assay Fe ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Semivariogram data kadar assay Fe

Pada proses *fitting* semivariogram dilakukan dengan cara menginput secara manual nilai *nugget effect*, *sill*, dan *range* serta model semivariogram yang sesuai sehingga semivariogram eksperimental dengan semivariogram model yang dipilih secara visual terlihat sama (*match*). Semivariogram yang dipilih pada penelitian ini menggunakan semivariogram isotropik.

Model semivariogram data kadar assay Fe yang digunakan yaitu *spherical* dan *exponential*. Model semivariogram yang dipilih menunjukkan *fitting* semivariogram yang baik dalam mewakili data kadar assay Fe dari semivariogram eksperimental. Jangkauan daerah pengaruh pada arah vertikal pada setiap titik sampel dilokasi penelitian diperoleh sebesar 4,75meter sedangkan arah horizontal sebesar 28,5meter. Parameter hasil *fitting* semivariogram yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Parameter model semivariogram

Struktur	Vertikal	Horizontal
Co	10	
Sill	27	73
Type	<i>Spherical</i>	<i>Exponential</i>
Range Max	4.75	28.5
Range Med	4.75	28.5
Range Min	4.75	28.5

Parameter model semivariogram yang diperoleh kemudian digunakan untuk menaksirkan model endapan bijih besi (Fe) di lokasi penelitian dengan grid dimensions (panjang x lebar x tebal dalam satuan meter) sebesar 41x23x205 yang merupakan ukuran dimensi keseluruhan dari lokasi penelitian sedangkan untuk ukuran per cell (ukuran blok-blok kecil) sebesar 25x25x1. Hasil penaksiran model sumberdaya kadar bijih besi (Fe) menggunakan perangkat lunak SGeMS.

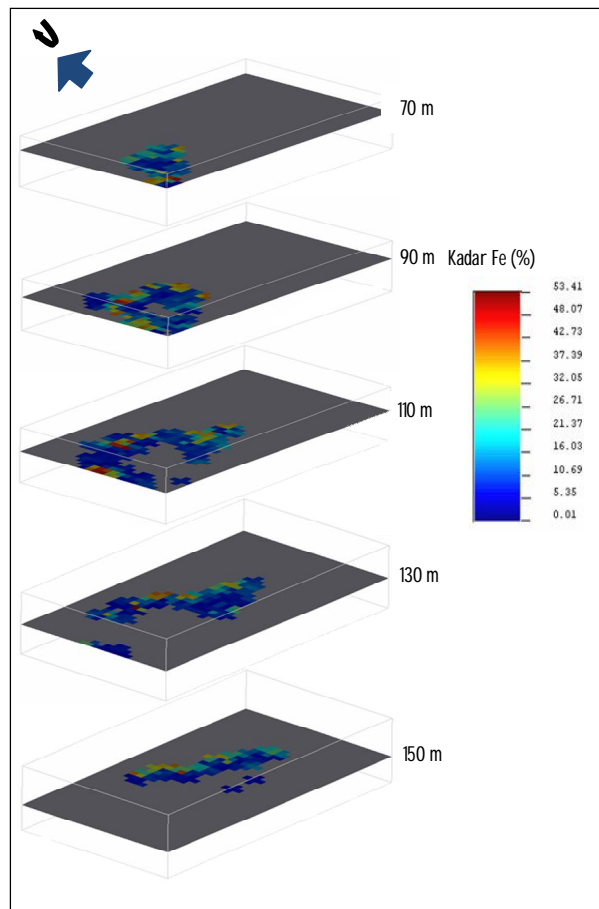
Hasil penaksiran model sumberdaya Fe metode *point kriging* diperoleh nilai estimasi dengan kisaran 0,01-53,41 %-Fe dan variansi kriging (tingkat variabilitas hasil estimasi terhadap data kadar assay kadar Fe) dengan nilai berkisar 18,12-212,33. Hasil penaksiran model sumberdaya Fe (estimasi) kemudian ditampilkan per kedalaman (*slice per depth*) yaitu 70m, 90m, 110m, 130m, dan 150m di atas permukaan. Pembagian *slice per depth* memberikan informasi letak dari blok-blok kadar Fe yang bernilai rendah sampai tinggi. Dari hasil penaksiran model sumberdaya Fe menunjukkan nilai kadar Fe yang tinggi berada setempat-setempat (tidak tersebar merata) dengan nilai antara 32,05 sampai 53,41 %-Fe yang ditunjukkan warna kuning sampai merah.

Hasil penaksiran model sumberdaya Fe metode diperoleh nilai estimasi dengan kisaran 0,01-53,41 %-Fe dan variansi kriging (tingkat variabilitas hasil estimasi terhadap data assay kadar Fe) dengan nilai berkisar 18,12-212,33. Hasil penaksiran model sumberdaya Fe metode *point kriging* diperoleh nilai estimasi dengan kisaran 0,01-53,41 %-Fe dan variansi kriging (tingkat variabilitas hasil estimasi terhadap data assay kadar Fe) dengan nilai berkisar 18,12-212,33. Hasil penaksiran model sumberdaya Fe (estimasi) kemudian ditampilkan per kedalaman (*slice per depth*) yaitu 70m, 90m, 110m, 130m, dan 150m di atas permukaan.

Pembagian *slice per depth* menyesuaikan dengan kedalaman dari masing-masing lubang bor. Hasil model penaksiran sumberdaya kadar Fe memperlihatkan letak dari blok-blok kadar Fe yang bernilai rendah dan tinggi tersebar secara tidak beraturan (setempat-setempat) dengan nilai kadar Fe antara 32,05% sampai 53,41 %-Fe yang ditunjukkan warna kuning sampai merah (Gambar 7).

Dari hasil model penaksiran sumberdaya kadar Fe dari data assay bijih besi kemudian dilakukan klasifikasi sumberdaya (*Measured, Indicated, dan Inferred*) berdasarkan hasil nilai *Relative Kriging Standard Deviation* (RKSD). Jumlah sumberdaya kadar Fe berdasarkan data assay kadar Fe yang diperoleh sebelum dilakukan penaksiran sebesar 9.662 blok. Penaksiran kadar Fe yang diperoleh dari metode

*point kriging* sebanyak 21.960 blok (cell) dengan rerata kadar Fe sebesar 14,47% Fe dan rerata kriging variansi sebesar 98,84.



Gambar 7. *Slice per depth* hasil model penaksiran dari nilai estimasi kadar Fe

Sementara untuk mengetahui jumlah tonase dari seluruh blok bijih besi hasil penaksiran metode *point kriging* menggunakan banyaknya nilai kadar estimasi dan variansi kriging dari ukuran blok (cell) 25x25x1 dan dikalikan dengan berat jenis besi. Diasumsikan berat jenis besi sebesar 7.850 kg/m<sup>3</sup> kemudian diklasifikasi nilai estimasi dan variansi kriging berdasarkan RKSD sehingga diperoleh jumlah tonase sumberdaya bijih besi di lokasi penelitian.

Sumberdaya bijih besi (Fe) yang termasuk klasifikasi sumberdaya terukur (*measured*) dengan nilai RKSD dibawah sama dengan 0,3 sebanyak 628 blok atau 3.081.125 ton (kadar rerata 39,73% Fe dan kriging variansi 26,34), sumberdaya tertunjuk (*indicated*) antara diatas 0,3 sampai 0,5 sebanyak 1.402 blok atau 6.878.563 ton (kadar rerata 32,51% Fe dan kriging variansi 35,19), dan sumberdaya terkira (*inferred*) dengan nilai RKSD diatas 0,5 sebanyak 19.930 blok atau 97.781.563 ton (kadar rerata

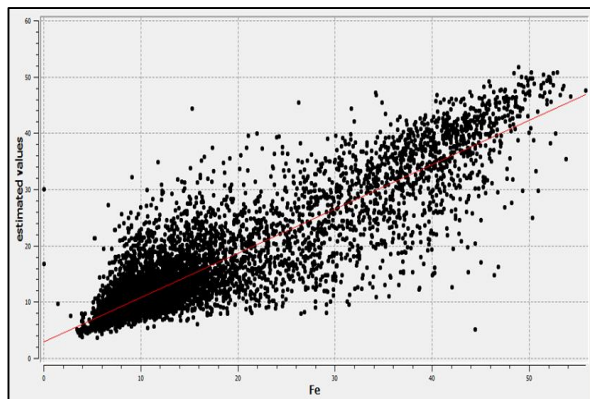
24,90% Fe dan kriging variansi 52,70) yang disajikan pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Penaksiran sumberdaya Fe

No.	Estimasi Biji Besi (%)	Variansi Kriging	Nilai RKSD	Blok (Cell)
1	39,72	26,34	0,26	628
2	32,51	35,19	0,35	1.402
3	24,90	52,70	0,54	19.930

Informasi nilai kriging variansi yang semakin besar seiring dengan bertambahnya atau banyaknya jumlah blok-blok penaksiran akan berpengaruh terhadap tingkat kepercayaan dari nilai estimasi kadar Fe yang diperoleh sehingga akan mengurangi jumlah blok-blok estimasi yang memiliki kadar Fe yang tinggi dengan kepercayaan yang tinggi pula.

Hasil penaksiran sumberdaya bijih besi (Fe) metode *point kriging* kemudian dilakukan validasi silang (*cross validation*). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan suatu model penaksiran yang diperoleh antara nilai estimasi kadar Fe dengan data assay Fe. Hasil validasi silang yang diperoleh menunjukkan penyebaran antara data assay Fe dengan data estimasi Fe mendekati garis regresi (warna merah) yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil validasi silang kadar Fe

Parameter validasi silang kadar Fe menunjukkan hubungan antar data kadar Fe tidak begitu jauh berbeda ( $r^2=0,94$ ), hal ini didukung oleh penyimpangan hasil data estimasi Fe berupa standar deviasi of estimation (SD), *root mean squared error*, dan *mean absolute error* lebih baik dari pada data kadar assay Fe pada analisis deskriptif unvarian (SD=10,45). Hubungan validasi silang antara data kadar estimasi Fe dengan data kadar assay Fe diperoleh parameter hasil validasi silang kadar Fe yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter validasi silang

Parameter validasi silang	Nilai
<i>Coef. Determination</i> ( $r^2$ )	0,94
<i>Root Mean Squared Error</i> (RMSE)	4,61
<i>Mean Absolute Error</i> (MAE)	2,84
<i>Standard Deviation of Estimation</i> (SD)	4,60

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penaksiran sumberdaya bijih besi (Fe) menggunakan metode *point kriging* klasifikasi RKSD menghasilkan sumberdaya Terukur (*measured*) sebesar 3.081.125 ton, Tertunjuk (*Indicated*) sebesar 6.878.563 ton dan Tereka (*Inferred*) sebesar 97.781.563 ton.
2. Hasil model penaksiran sumberdaya kadar bijih besi (Fe) menunjukkan pola penyebaran kadar Fe yang tinggi diatas 14,40%Fe tersebar secara acak (bervariasi) atau setempat-setempat dalam bentuk unit blok-blok kecil.
3. Nilai tingkat kepercayaan (koefisien korelasi) hasil penaksiran sumberdaya Fe dari metode *point kriging* sebesar 0,89 ( $r^2=0,94$ ).

#### Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada pimpinan PT Aneka Tambang (ANTAM) Tbk, Unit Geomin yang telah memberikan kesempatan penulis dalam penggunaan data-data yang mendukung penyelesaian penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- Amstrong, Margaret., 1998, *Basic Linear Geostatistics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Amelia, Ririn., 2016, *Analisi Spasial Data Tahanan Konus Menggunakan Metode Ordinary kriging (OK)*, Jurnal Fropil Vol. IV No. 1/2016, Teknik Sipil, Universitas Bangka Belitung.
- Awali, A. Abid., Yasin, H., dan Rahmawati R., 2013, *Estimasi Kandungan Hasil Tambang Menggunakan Ordinary Indicator Kriging*, Jurnal Gaussian, Vol.2, No. 1/2013.
- Bhakti, Giandari., dan Subagiada, Kadek., 2016, *Analisis Penyebaran Lapisan Batubara*

- Dengan Menggunakan Metode Ordinary Kriging Di Pit S11gn Pt. Kitadin Desa Embalut Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur*, Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA, UNMUL Maret 2016, ISBN: 978-602-72658-1-3.
- Cressie, N. A. C, 1993, *Statistics for Spatial Data*, Revised Edition, John Willey & Sons, Inc. New York.
- Isaaks, Edward H., and Srivastava, R. Mohan, 1989, *Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- Guskarnali, dan Sulistyana, Waterman., 2015, *Analisis Penaksiran Sumberdaya Nikel Laterit-3D Menggunakan Metode Block Kriging*, Prosiding Seminar Nasional Kebumihan X-FTM-UPN "Veteran" Yogyakarta, ISBN: 978-602-8206-67-9
- Masuara, A.H., Heriawan, M.N., dan Syafrizal, 2011, *Perbandingan Antara Pendekatan Direct Grade dan Accumulation Grade Pada Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Dengan Metode Geostatistik*. Jurnal Teknologi Mineral, Vol. XVIII No. 1/2011.
- Rauf, Abdul., 1998, *Perhitungan Cadangan Endapan Mineral*, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Sinclair, A.J., and Blackwell, G.H., 2005, *Applied Mineral Inventory Estimation*, Cambridge University Press.
- Sulistyana, Waterman., 1998, *Kriging Indikator Sebagai Metode Alternatif Untuk Penaksiran Kadar Bijih Secara Geostatistik*, Prosiding Temu Ilmiah dan Reuni 1998 Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Beszterda, Inez., 2011, *Crossvalidation Script*, Faculty of Geological Sciences, Adam Mickiewicz University In Poznan, Poland.  
[http://www.geoinfo.amu.edu.pl/staff/astach/www\\_geostat/skrypt/instructins.pdf](http://www.geoinfo.amu.edu.pl/staff/astach/www_geostat/skrypt/instructins.pdf) dan [http://www.geoinfo.amu.edu.pl/staff/astach/www\\_geostat/skrypt/crossvalidation.py](http://www.geoinfo.amu.edu.pl/staff/astach/www_geostat/skrypt/crossvalidation.py) diakses tanggal 5 November 2016.